

Кислицын А.А.
Физика атома, атомного
ядра и элементарных
частиц

18 (0). Строение электронных оболочек. Объяснение периодической системы элементов Д.И.Менделеева.

В 1869 году Д.И.Менделеев обнародовал периодический закон и его следствие - таблицу элементов. В 1870 году он назвал таблицу "естественной", а еще через год - "периодической". Вид первых вариантов таблиц был далек от современного. В то время были известны только 63 элемента (сейчас 118), не были известны инертные газы, актиноиды, а, самое главное, отсутствовали сведения о строении атомов. Таблица состояла из 6 вертикальных столбцов (предшественники современных периодов) и содержала 67 элементов (63 известных + 4 предсказанных). Три из предсказанных (экабор, экасилиций и экаалюминий) вскоре были открыты и получили названия соответственно: скандий Sc, германий Ge и галлий Ga. После этого периодический закон получил всеобщее признание.

"Короткая" форма таблицы, 2000-й год

		ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА										VII		VIII		 <p>Периодический закон открыт Д.И. МЕНДЕЛЕЕВЫМ в 1869 году</p>
1	(H)	II		III		IV		V		VI		1	H	2	He	
												1.0079	ВОДОРОД	4.00260	ГЕЛИЙ	
2	Li 3 6.94, ЛИТИЙ	Be 4 9.01218, БЕРИЛЛИЙ	5	B 10.81 БОР	6	C 12.011 УГЛЕРОД	7	N 14.0067 АЗОТ	8	O 15.999, КИСЛОРОД	9	F 18.998403 ФТОР	10	Ne 20.17, НЕОН		
3	Na 11 22.98977, НАТРИЙ	Mg 12 24.305, МАГНИЙ	13	Al 26.98154 АЛЮМИНИЙ	14	Si 28.085, КРЕМНИЙ	15	P 30.97376 ФОСФОР	16	S 32.06, СЕРА	17	Cl 35.453, ХЛОР	18	Ar 39.94, АРГОН		
4	K 19 39.098, КАЛИЙ	Ca 20 40.08, КАЛЬЦИЙ	Sc 21 44.9559, СКАНДИЙ	Ti 22 47.88, ТИТАН	V 23 50.9415, ВАНАДИЙ	Cr 24 51.996, ХРОМ	Mn 25 54.9380, МАРГАНЕЦ	Fe 26 55.84, ЖЕЛЕЗО	Co 27 58.9332, КОБАЛЬТ	Ni 28 58.70, НИКЕЛЬ						
	29 63.54, Cu МЕДЬ	30 65.38, Zn ЦИНК	31 69.72, Ga ГАЛЛИЙ	32 72.5, Ge ГЕРМАНИЙ	33 74.9216, As МЫШЬЯК	34 78.9, Se СЕЛЕН	35 79.904, Br БРОМ	36 83.80, Kr КРИПТОН								
5	Rb 37 85.467, РУБИДИЙ	Sr 38 87.62, СТРОНЦИЙ	Y 39 88.9059, ИТТРИЙ	Zr 40 91.22, ЦИРКОНИЙ	Nb 41 92.9064, НИОБИЙ	Mo 42 95.94, МОЛИБДЕН	Tc 43 98.9062, ТЕХНЕЦИЙ	Ru 44 101.0, РУТЕНИЙ	Rh 45 102.9055, РОДИЙ	Pd 46 106.4, ПАЛЛАДИЙ						
	47 107.868, Ag СЕРЕБРО	48 112.41, Cd КАДМИЙ	49 114.82, In ИНДИЙ	50 118.6, Sn ОЛОВО	51 121.7, Sb СУРЬМА	52 127.6, Te ТЕЛЛУР	53 126.9045, I ИОД	54 131.30, Xe КСЕНОН								
6	Cs 55 132.9054, ЦЕЗИЙ	Ba 56 137.33, БАРИЙ	La* 57 138.905, ЛАНТАН	Hf 72 178.4, ГАФНИЙ	Ta 73 180.947, ТАНТАЛ	W 74 183.8, ВОЛЬФРАМ	Re 75 186.207, РЕНИЙ	Os 76 190.2, ОСМИЙ	Ir 77 192.2, ИРИДИЙ	Pt 78 195.0, ПЛАТИНА						
	79 196.9665, Au ЗОЛОТО	80 200.5, Hg РУТУТЬ	81 204.3, Tl ТАЛЛИЙ	82 207.2, Pb СВИНЕЦ	83 208.9804, Bi ВИСМУТ	84 [209]*, Po ПОЛОНИЙ	85 [210], At АСТАТ	86 [222], Rn РАДОН								
7	Fr 87 [223], ФРАНЦИЙ	Ra 88 226.0254, РАДИЙ	Ac** 89 [227], АКТИНИЙ	Ku 104 [261], КУРЧАТОВИЙ	105											

Атомные массы приведены по Международной таблице 1977 года.
Точность последней значащей цифры = 1 или = 3, если она выделена мелким шрифтом.
В квадратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов.

* ЛАНТАНОИДЫ

Ce 58 140.12, ЦЕРИЙ	Pr 59 140.9077, ПРАЗЕОДИЙ	Nd 60 144.2, НЕОДИМ	Pm 61 [145]*, ПРОМЕТИЙ	Sm 62 150.4, САМАРИЙ	Eu 63 151.96, ЕВРОПИЙ	Gd 64 157.2, ГАДОЛИНИЙ	Tb 65 158.9254, ТЕРБИЙ	Dy 66 162.5, ДИСПРОЗИЙ	Ho 67 164.9304, ГОЛЬМИЙ	Er 68 167.2, ЭРБИЙ	Tm 69 168.9342, ТУЛИЙ	Yb 70 173.0, ИТТЕРБИЙ	Lu 71 174.96, ЛЮТЕЦИЙ
----------------------------------	--	----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

** АКТИНОИДЫ

Th 90 232.0381, ТОРИЙ	Pa 91 231.0359, ПРОТАКТИНИЙ	U 92 238.02, УРАН	Np 93 237.0482, НЕПУНИЙ	Pu 94 [244], ПЛУТОНИЙ	Am 95 [243], АМЕРЦИЙ	Cm 96 [247], КЮРИЙ	Bk 97 [247], БЕРКЛИЙ	Cf 98 [251]*, КАЛИФОРНИЙ	Es 99 [254], ЭЙНШТЕЙНИЙ	Fm 100 [257], ФЕРМИЙ	Md 101 [258], МЕНДЕЛЕВИЙ	(No) 102 [259], (НОБЕЛИЙ)	(Lr) 103 [260], (ЛОУРЕНСИЙ)
------------------------------------	--	--------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------	--	--

Объяснение периодической системы элементов – одна из важнейших задач атомной физики.

Сформулируем прежде всего те принципы, на которых основано это объяснение:

1). Состояние электрона в атоме полностью определяется четырьмя квантовыми числами:

главным квантовым числом $n = 1, 2, 3, \dots;$

орбитальным

квантовым числом

$$l = 0, 1, \dots, n-1;$$

магнитным квантовым числом

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l;$$

магнитным спиновым

квантовым числом

$$m_s = +1/2, -1/2.$$

- 2) Принцип Паули: В атоме может существовать только один электрон в состоянии, характеризуемом данными значениями четырех квантовых чисел; т.е. два электрона в одном и том же атоме должны различаться значениями по крайней мере одного квантового числа.
- 3) Атом (как и любая система) устойчив тогда, когда находится в состоянии с наименьшей возможной энергией.

Совокупность электронов, обладающих одинаковым главным квантовым числом образует слой. Слои имеют названия :

n	1	2	3	4	5	6	...
Название	К	L	M	N	O	P	...

Совокупность электронов, имеющих одинаковые n и l , образует оболочку. Названия оболочек :

l	0	1	2	3	4	5	...
Название	s	p	d	f	g	h	...

Принцип Паули ограничивает число электронов на той или иной электронной оболочке. Действительно, электроны в невозбужденном атоме стремятся перейти в состояние с наименьшей энергией (в устойчивое состояние), которое соответствует минимальным значениям главного и орбитального чисел. Однако возможность такого перехода ограничена принципом Паули. Поэтому электроны в невозбужденном атоме находятся в таких состояниях, при которых энергия атома является наименьшей, но распределение по состояниям удовлетворяет принципу Паули.

Установим теперь, сколько электронов может находиться на оболочке и в атоме.

Т.к. число m_s может иметь два значения, то в атоме может быть два электрона с одинаковыми числами n, l, m .

При заданном l квантовое число m может иметь $(2l + 1)$ значений, следовательно, на оболочке может быть $2(2l + 1)$ электронов, т.е.

l	0	1	2	3	4	5	6
Название	s	p	d	f	g	h	i
Макс. число электронов	2	6	10	14	18	22	26

При заданном n квантовое число l может принимать n значений: $0, 1, 2, \dots, n - 1$. Поэтому максимальное число электронов в слое можно выразить суммой арифметической прогрессии:

$$\sum_{l=0}^{n-1} 2(2l+1) = \frac{2 + 2(2(n-1)+1)}{2} n = 2n^2 \quad (17.1)$$

n	1	2	3	4	5	6	7
Название	К	L	M	N	O	P	Q
Макс. число электронов	2	8	18	32	50	72	98

Конфигурация электронных оболочек атомов записывается с помощью следующих обозначений. Каждая оболочка обозначается соответствующим n и буквой, обозначающей l , а индексом справа вверху обозначается число электронов. Например:

Водород	$1s^1$
Гелий	$1s^2$
Литий	$1s^22s^1$
Углерод	$1s^22s^22p^2$
Кислород	$1s^22s^22p^4$
Аргон	$1s^22s^22p^63s^23p^6$

Еще несколько примеров конфигураций электронных оболочек атомов:

19	Калий	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 = [\text{Ar}]4s^1$
20	Кальций	$[\text{Ar}]4s^2$
36	Криптон	$[\text{Ar}]4s^2 3d^{10} 4p^6$
37	Рубидий	$[\text{Ar}]4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^1 = [\text{Kr}]5s^1$
43	Технеций	$[\text{Kr}]5s^1 4d^6$
54	Ксенон	$[\text{Kr}]5s^2 4d^{10} 5p^6$
55	Цезий	$[\text{Xe}]6s^1$
56	Барий	$[\text{Xe}]6s^2$
57	Лантан	$[\text{Xe}]6s^2 5d^1$
71	Лютеций	$[\text{Xe}]6s^2 5d^1 4f^{14}$
86	Радон	$[\text{Xe}]6s^2 5d^{10} 4f^{14} 6p^6$

Итак, принцип Паули дает следующую картину построения электронной оболочки атомов. Каждый вновь присоединяемый электрон связывается в состоянии с наименьшими возможными квантовыми числами. Эти электроны постепенно заполняют слой с одним и тем же главным квантовым числом n . Когда построение слоя заканчивается, получается устойчивая структура (инертный газ). Следующий электрон начинает заполнение уже нового слоя и т.д. Эта идеальная схема соблюдается до 18 элемента таблицы Менделеева (до аргона).

Начиная с 19-го элемента (калия) наблюдаются отступления от идеальной схемы. Причина этих отступлений заключается в том, что идеальная схема не учитывает взаимодействия электронов между собой.

Например, 19-ый электрон калия должен (согласно идеальной схеме) находиться в $3d$ -оболочке. Однако химические и спектроскопические данные указывают на то, что этот электрон находится в $4s$ -оболочке. Детальный расчет с учетом взаимодействия электронов показывает, что состояние $3d$ действительно отвечает большей энергии, чем $4s$.

1	Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА						1	2
	II	III	IV	V	VI	1,0079	4,00260	
(H)						ВОДОРОД	ГЕЛИЙ	
2	Li 3 6,94 ЛИТИЙ	Be 4 9,01218 БЕРИЛЛИЙ	5 10,81 БОР	6 12,011 УГЛЕРОД	7 14,0067 АЗОТ	8 15,9994 КИСЛОРОД	9 18,998403 ФТОР	10 20,18 НЕОН
3	Na 11 22,98977 НАТРИЙ	Mg 12 24,305 МАГНИЙ	13 26,98154 АЛЮМИНИЙ	14 28,085 КРЕМНИЙ	15 30,97376 ФОСФОР	16 32,06 СЕРА	17 35,453 ХЛОР	18 39,948 АРГОН
4	K 19 39,098 КАЛИЙ	Ca 20 40,08 КАЛЬЦИЙ	Sc 21 44,9559 СКАНДИЙ	Ti 22 47,88 ТИТАН	V 23 50,9415 ВАНАДИЙ	Cr 24 51,996 ХРОМ	Mn 25 54,9380 МАРГАНЕЦ	Fe 26 55,845 ЖЕЛЕЗО

По этой же причине 20-ый электрон кальция тоже находится в $4s$ -состоянии, а нормальное заполнение $3d$ -оболочки начинается у скандия. Аналогичное нарушение нормального порядка наблюдается у рубидия, цезия, франция. Другое отступление от нормального порядка заполнения слоев имеет место у редких земель ($Z = 58 - 71$): идет заполнение $4f$ -оболочки после того, как заполнены оболочки $5s$, $5p$ и $6s$.

5	47 107,868 Ag СЕРЕБРО	48 112,41 Cd КАДМИЙ	49 114,82 In ИНДИЙ	50 118,6, Sn ОЛОВО	51 121,7, Sb СУРЬМА	52 127,6, Te ТЕЛЛУР	53 129,9045 I ИОД	54 131,30 Xe КСЕНОН
6	Cs 55 132,9054 ЦЕЗИЙ	Ba 56 137,33 БАРИЙ	La * 57 138,905, ЛАНТАН	Hf 72 178,4, ГАФНИЙ	Ta 73 180,947, ТАНТАЛ	W 74 183,8, ВОЛЬФРАМ	Re 75 186,207 РЕНИЙ	Os 76 190,2 ОСМИЙ
	79 196,9665 Au ЗОЛОТО	80 200,5, Hg РТУТЬ	81 204,3, Tl ТАЛЛИЙ	82 207,2 Pb СВИНЕЦ	83 208,9804 Bi ВИСМУТ	84 [209]* Po ПОЛОНИЙ	85 [210] At АСТАТ	86 [222] Rn РАДОН
7	Fr 87 [223] ФРАНЦИЙ	Ra 88 226,0254 РАДИЙ	Ac ** 89 [227] АКТИНИЙ	Ku 104 [261] КУРЧАТОВИЙ	105	<div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> ■ - s-элементы ■ - p-элементы </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> ■ - d-элементы ■ - f-элементы </div>		

Атомные массы приведены в квадратных скобках. Точность поданных значений цифрой ±1 и

* лантаноиды											в квадратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов.					
Ce 58 140,32 ЦЕРИЙ	Pr 59 140,9077 ПРАЗЕОДИМ	Nd 60 144,2, НЕОДИМ	Pm 61 [145]* ПРОМЕТИЙ	Sm 62 150,4 САМАРИЙ	Eu 63 151,96 ЕВРОПИЙ	Gd 64 157,2, ГАДОЛИНИЙ	Tb 65 158,9254 ТЕРБИЙ	Dy 66 162,5, ДИСПРОЗИЙ	Ho 67 164,9304 ГОЛЬМИЙ	Er 68 167,2, ЭРБИЙ	Tm 69 168,9342 ТУЛИЙ	Yb 70 173,0, ИТТЕРБИЙ	Lu 71 174,96, ЛЮТЕЦИЙ			

Таким образом, атомная физика полностью объяснила периодическую таблицу элементов. Причем теория не только объяснила, но и уточнила таблицу. До 1922г. элемент $Z=72$ не был известен. Он был предсказан Менделеевым, и ему было оставлено место в группе редких земель. Однако по теоретическим соображениям, группа редких земель должна содержать 14 элементов (т.к. на $4f$ оболочке может находиться 14 электронов), т.е. должна заканчиваться 71-м элементом, а элемент $Z=72$ должен быть аналогом циркония и титана. На это впервые указал Н. Бор, и вскоре элемент 72 (гафний) был открыт в циркониевых рудах и по своим химическим и оптическим свойствам оказался аналогом титана и циркония, а не элементов группы редких земель.

Недостатки короткой формы таблицы

Из-за того, что короткая таблица ограничена 8-ю столбцами, приходится подразделять 4-й и следующие периоды на ряды и подгруппы, что лишено химического смысла. Например, в I группе находятся щелочные металлы и резко отличающиеся от них по химическим свойствам золото, серебро и медь. В VII группе находятся галогены и тугоплавкий металл рений. Максимально противоречива структура VIII группы. В нее включена "триада" железа (Fe, Co, Ni), семейство платиновых металлов (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt) и инертные газы. Имеются и другие недостатки.

Длинная форма таблицы

В 1989 году Международный союз теоретической и прикладной химии (International Union of Pure and Applied Chemistry - IUPAC, ИЮПАК) отменил короткую форму и утвердил новую "длинную" форму. Она состоит из 18 групп, обозначенных арабскими цифрами. Но чтобы сохранить преемственность, параллельно новым номерам групп записаны старые номера римскими цифрами с указанием подгрупп (а, б), как в короткой форме. При этом f-элементы (лантаноиды и актиноиды) остались в третьей группе, и для них, как и раньше, выделены отдельные строки.

"Длинная" форма таблицы, 2004г

Современная периодическая система элементов Д.И.Менделеева

Period	Group 1 Группа 1a												Group 18					
	1s	1s'											1s	1s'				
1	1.00794 1 H Hydrogen Водород												4.002602 2 He Helium Гелий					
2	6.941 3 Li Lithium Литий	9.012182 4 Be Beryllium Бериллий											20.1797 10 Ne Neon Неон					
3	22.989770 11 Na Sodium Натрий	24.3050 12 Mg Magnesium Магний											39.948 18 Ar Argon Аргон					
4	39.0983 19 K Potassium Калий	40.078 20 Ca Calcium Кальций	44.955910 21 Sc Scandium Скандий	47.867 22 Ti Titanium Титан	50.9415 23 V Vanadium Ванадий	51.9961 24 Cr Chromium Хром	54.938046 25 Mn Manganese Марганец	55.845 26 Fe Iron Железо	58.933200 27 Co Cobalt Кобальт	58.6934 28 Ni Nickel Никель	63.546 29 Cu Copper Медь	65.39 30 Zn Zinc Цинк	69.723 31 Ga Gallium Галлий	72.61 32 Ge Germanium Германий	74.92160 33 As Arsenic Мышьяк	78.96 34 Se Selenium Селен	79.904 35 Br Bromine Бром	83.80 36 Kr Krypton Криптон
5	85.4678 37 Rb Rubidium Рубидий	87.62 38 Sr Strontium Стронций	88.90585 39 Y Yttrium Иттрий	91.224 40 Zr Zirconium Цирконий	92.90638 41 Nb Niobium Ниобий	95.94 42 Mo Molybdenum Молибден	97.90 43 Tc Technetium Технеций	101.07 44 Ru Ruthenium Рутений	102.90550 45 Rh Rhodium Родий	106.42 46 Pd Palladium Палладий	107.8682 47 Ag Silver Серебро	112.411 48 Cd Cadmium Кадмий	114.818 49 In Indium Индий	118.710 50 Sn Tin Олово	118.710 51 Sb Antimony Сурьма	127.60 52 Te Tellurium Теллур	126.90447 53 I Iodine Иод	131.29 54 Xe Xenon Ксенон
6	132.90545 55 Cs Cesium Цезий	137.327 56 Ba Barium Барий	138.9055 57 La Lanthanum Лантан	178.46 72 Hf Hafnium Гафний	180.9479 73 Ta Tantalum Тантал	183.84 74 W Wolfram Вольфрам	186.207 75 Re Rhenium Рений	190.23 76 Os Osmium Осмий	192.217 77 Ir Iridium Иридий	195.078 78 Pt Platinum Платина	196.96655 79 Au Gold Золото	200.59 80 Hg Mercury Ртуть	204.3833 81 Tl Thallium Таллий	207.2 82 Pb Lead Свинец	208.98038 83 Bi Bismuth Висмут	(210) 84 Po Polonium Полоний	(210) 85 At Astatine Астат	(222) 86 Rn Radon Радон
7	223 87 Fr Francium Франций	(226) 88 Ra Radium Радий	(227) 89 Ac Actinium Актиний	(261) 104 Rf Rutherfordium Резерфордий	(262) 105 Db Dubnium Дубний	(263) 106 Sg Seaborgium Сиборгий	(264) 107 Bh Bohrium Борий	(265) 108 Hs Hassium Хассий	(268) 109 Mt Meitnerium Мейтнерий	(269) 110 Uun Ununnilium Унуннилий	(277) 111 Uuu Unununium Унунуний	(277) 112 Uub Unbibium Унубий	(289) 113 Unt Untrium Унунтрий	(289) 114 Uuq Unquadium Унунквадий	© P.C. Сайфуллин, А.Р. Сайфуллин, 2004 © R.S. Сайфуллин, A.R. Saifullin, 2004			
* Element has no stable nuclides. For radioactive elements the value in parentheses refers to the number of nucleons (mass number) of the most stable isotope (IUPAC, 1995) * Элемент не имеет устойчивых изотопов. Для него в скобках приведено значение массового числа (число нуклонов в ядре) наиболее долгоживущего изотопа (ИЮПАК, 1995).			140.116 58 Ce Cerium Церий	140.90765 59 Pr Praseodymium Прозердий	144.24 60 Nd Neodymium Неодим	(145) 61 Pm Promethium Прометий	150.36 62 Sm Samarium Самарий	151.964 63 Eu Europium Европий	157.25 64 Gd Gadolinium Гадолиний	158.92534 65 Tb Terbium Тербий	162.50 66 Dy Dysprosium Диспрозий	164.93032 67 Ho Holmium Гольмий	167.26 68 Er Erbium Эрбий	168.93421 69 Tm Thulium Тулий	173.04 70 Yb Ytterbium Иттербий	174.967 71 Lu Lutetium Лутеций		
{} Alternative english name [] American spelling of the element's name () Альтернативное английское название [] Американское написание названия элемента			(232) 90 Th Thorium Торий	(231) 91 Pa Protactinium Протактиний	(238) 92 U Uranium Уран	(239) 93 Np Neptunium Нептуний	(239) 94 Pu Plutonium Плутоний	(243) 95 Am Americium Америкций	(247) 96 Cm Curium Кюрий	(247) 97 Bk Berkelium Берклий	(252) 98 Cf Californium Калифорний	(251) 99 Es Einsteinium Эйнштейний	(257) 100 Fm Fermium Фермий	(258) 101 Md Mendelevium Менделевий	(259) 102 No Nobelium Нобелий	(260) 103 Lr Lawrencium Лоуренсий		

Атомная масса, относительная **186.207**
 Атомный номер. Обозначение **75Re**
 Распределение электронов **[Xe] 4f¹⁴5d⁵6s²**
 Температура плавления (°C) **3180**
 Температура кипения (°C) **5627**
 Электроотрицательность (по Полингу/по Аллреду и Рохову) **1.9/1.46**
 Название **Rhenium**
 Латинское название **Rhenium**

Atomic mass, relative **186.207**
 Atomic No. Symbol **75Re**
 Electron configuration **[Xe] 4f¹⁴5d⁵6s²**
 Melting point (°C) **3180**
 Boiling point (°C) **5627**
 Electronegativity (Pauling/Allred & Rochov) **1.9/1.46**
 Name **Rhenium**
 Latin name **Rhenium**

Groups 1...18 IUPAC 1989
 Groups IA...VIII...0 IUPAC 1970
 Группы 1...18 ИЮПАК, 1989
 Группы IA...VIII...0 ИЮПАК, 1970

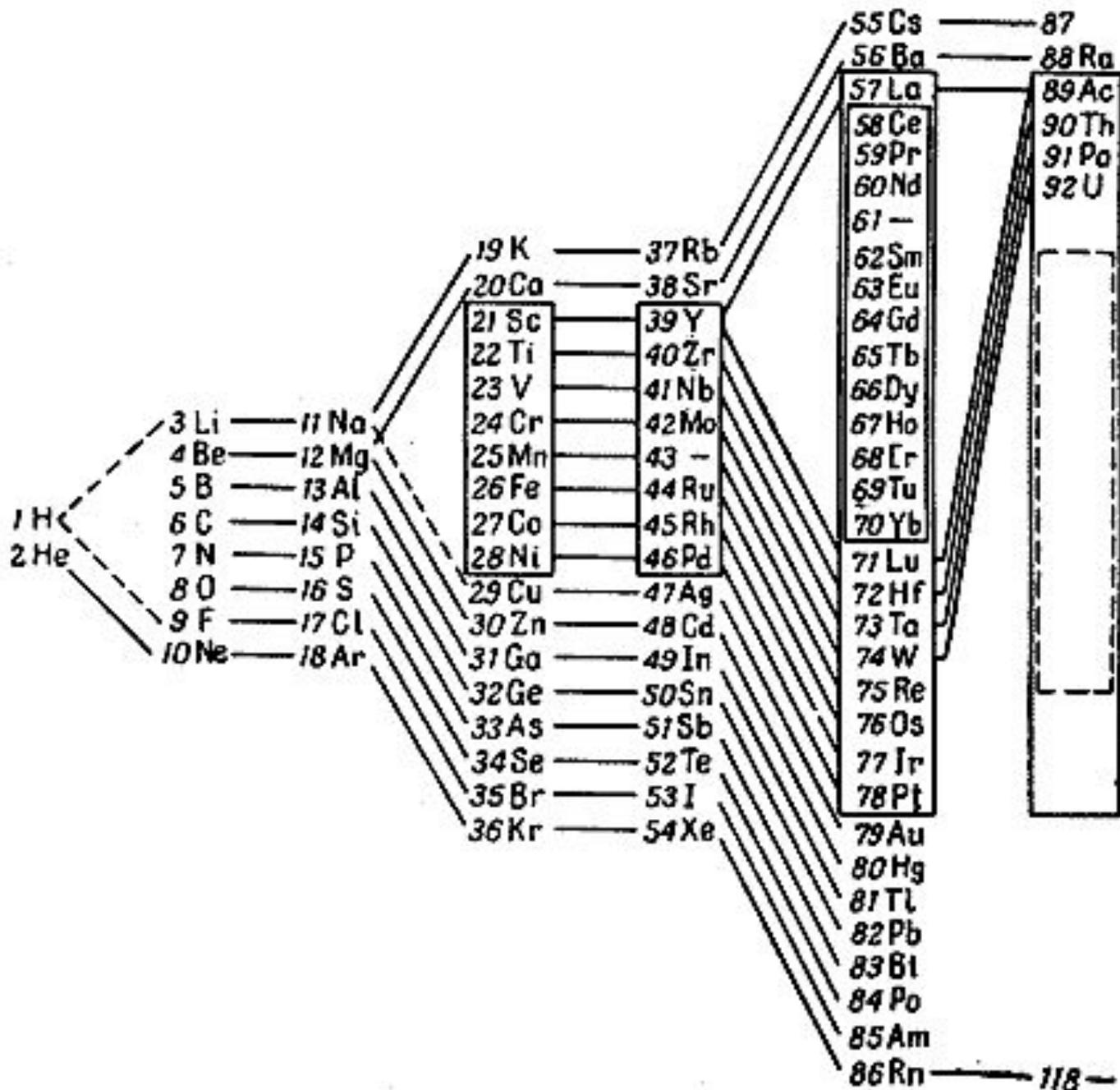
13	14	15	16	17
IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA
10.811 5 B Boron Бор	12.011 6 C Carbon Углерод	14.00674 7 N Nitrogen Азот	15.9994 8 O Oxygen Кислород	18.9984032 9 F Fluorine Фтор
26.981538 13 Al Aluminium [Aluminum] Алюминий	28.0855 14 Si Silicon Кремний	30.973761 15 P Phosphorus Фосфор	32.066 16 S Sulphur Сера	35.4527 17 Cl Chlorine Хлор

18
4.002602 2 He
20.1797 10 Ne
39.948 18 Ar
79.904 36 Kr
131.29 54 Xe
222 86 Rn

Современная (2019г) таблица Д.И.Менделеева

ГРУППА→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓ ПЕРИОД																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	* 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
			* 57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
			* 89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

Периодическая система элементов, предложенная Н. Бором в 1921г



Периодическая система, предложенная Н. Бором, и дополненная новыми элементами

1 H	3 Li	11 Na	19 K	37 Rb	55 Cs	87 Fr
2 He	4 Be	12 Mg	20 Ca	38 Sr	56 Ba	88 Ra
	5 B	13 Al	21 Sc	39 Y	57 La	89 Ac
	6 C	14 Si	22 Ti	40 Zr	58 Ce	90 Th
	7 N	15 P	23 V	41 Nb	59 Pr	91 Pa
	8 O	16 S	24 Cr	42 Mo	60 Nd	92 U
	9 F	17 Cl	25 Mn	43 Tc	61 Pm	93 Np
	10 Ne	18 Ar	26 Fe	44 Ru	62 Sm	94 Pu
			27 Co	45 Rh	63 Eu	95 Am
			28 Ni	46 Pd	64 Gd	96 Cm
			29 Cu	47 Ag	65 Tb	97 Bk
			30 Zn	48 Cd	66 Dy	98 Cf
			31 Ga	49 In	67 Ho	99 Es
			32 Ge	50 Sn	68 Er	100 Fm
			33 As	51 Sb	69 Tm	101 Md
			34 Se	52 Te	70 Yb	102 No
			35 Br	53 I	71 Lu	103 Lr
			36 Kr	54 Xe	72 Hf	104 Rf
					73 Ta	105 Db
					74 W	106 Sg
					75 Re	107 Bh
					76 Os	108 Hs
					77 Ir	109 Mt
					78 Pt	110 Ds
					79 Au	111 Rg
					80 Hg	112 Cn
					81 Tl	113 Nh
					82 Pb	114 Fl
					83 Bi	115 Mc
					84 Po	116 Lv
					85 At	117 Ts
					86 Rn	118 Og